

# Analisa Performansi Low Density Parity Check (LDPC) Code Pada Sistem CDMA

Ahmad Affandi<sup>1</sup>, Yoedy Moegiharto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jurusan Teknik Telekomunikasi

<sup>2</sup>Politeknik Elektronika Negeri Surabaya Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Kampus ITS, Surabaya 60111

e-mail : [tofa\\_novsky@yahoo.co.id](mailto:tofa_novsky@yahoo.co.id) e-mail : [yomoegiharto@eepis-its.edu](mailto:yomoegiharto@eepis-its.edu)

## Abstrak

LDPC (*Low Density Parity Check*) code didefinisikan sebagai linear *block code* yang memiliki kepadatan rendah yang dapat menghasilkan BER (*bit error rate*) yang rendah dengan energi *bit per noise ratio* (SNR) yang rendah [2]. *Low Density Parity Check Code* ( LDPCC ) adalah salah satu bagian dari teknik pengkodean kanal yang diterapkan sebagai *parity check* yang dapat membantu kerja pengkodean kanal agar dapat bekerja maksimal. Teknik pengkodean kanal dibutuhkan untuk mendapatkan nilai QOS yang diharapkan [8].

Pengkodean kanal (*channel coding*) pada suatu sistem digital merupakan suatu cara untuk melindungi informasi digital terhadap kesalahan yang mungkin terjadi selama pengiriman sinyal dengan cara menambahkan sejumlah digit redundansi pada sejumlah digit informasi yang akan dikirimkan. Kinerja pada system komunikasi *wireless* diukur dengan menggunakan parameter *bit error rate* (BER) [3].

Sedangkan *Code Division Multiple Access* (CDMA) adalah sebuah bentuk pemultipleksan (bukan sebuah skema pemodulasian) dan sebuah metode akses secara bersama yang membagi kanal tidak berdasarkan waktu (seperti pada TDMA) atau frekuensi (seperti pada FDMA), namun dengan cara mengkodekan data dengan sebuah kode khusus yang diasosiasikan dengan tiap kanal yang ada dan menggunakan sifat-sifat interferensi konstruktif dari kode-kode khusus itu untuk melakukan pemultipleksan

Dimana pada tugas akhir ini akan dibuat tugas akhir yang berjudul “Analisa Performansi LDPC (*Low Density Parity Check*) Code pada sistem CDMA”.

Keyword : LDPC, *Channel Coding* (Pengkodean Kanal , CDMA

## 1. Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan jaman, sistem komunikasi *wireless* dituntut untuk menyediakan layanan data yang berkecepatan tinggi dengan QOS ( *Quality Of Service* ) yang *reliable*. Dengan tersedianya layanan yang berkecepatan tinggi maka *provider* telekomunikasi dapat menyediakan layanan pengiriman data dan *service* lainnya secara *realtime*. Akan tetapi ada tantangan tersendiri dari layanan yang serba *multimedia* antara lain di samping kapasitas *bandwidth* yang terbatas dengan tetap mempertahankan kestabilan BER yang diijinkan oleh sistem tersebut, juga adanya pengaruh *noise* dan *interferensi* terhadap bit-bit yang dikirim sehingga menimbulkan error [3].

Teknik pengkodean kanal dibutuhkan untuk mendapatkan nilai QOS yang diharapkan. Teknik pengkodean kanal yang baik adalah teknik pengkodean kanal yang menghasilkan BER (*Bit Error Rate*) yang rendah. *Low Density Parity Check Code* (LDPCC) adalah salah satu bagian dari teknik pengkodean kanal yang diterapkan sebagai *parity check* yang dapat membantu kerja pengkodean kanal agar dapat bekerja maksimal [8].

Teknik pengkodean *Low Density Parity Check Code* (LDPCC) pertama kali diperkenalkan oleh Gallager, PhD pada tahun 1960. LDPC merupakan salah satu kelas dari pengkodean *linier block* yang menggunakan konsep *sparse parity check matrix* P, dimana jumlah bit '1' dalam matrik P berjumlah lebih sedikit jika dibandingkan dengan jumlah bit '0' [4].

LDPC code didefinisikan sebagai kode yang merupakan *sparse parity check matrix*

dan diharapkan dengan pengiriman *high-bit-rate* dapat membantu untuk menghasilkan probabilitas kesalahan bit yang rendah. *Sparse parity check matrix* adalah *parity check* yang memiliki kerapatan yang rendah. Disebut *Low Density Parity Check* (LDPC) karena sifatnya yang lebih banyak '0' dari pada '1' pada *matriks parity check* [4].

Dengan kelebihan LDPC *code* dan CDMA diharapkan mampu menghasilkan performansi sistem yang baik. Serta pemakaian teknik LDPC *coding* diharapkan mampu mengurangi kompleksitas dalam implementasi.

## 2. Teori Penunjang

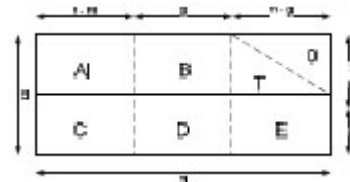
### Low Density Parity Check

*Low Density Parity Check* (LDPC) Codes merupakan salah satu kelas dari teknik pengkodean linier block. Nama LDPC berasal dari karakteristik dari matrik *parity check*-nya yang hanya berisi sedikit bit '1' jika dibandingkan dengan jumlah bit '0'. Keunggulan utama dari teknik pengkodean ini adalah LDPC dapat menghasilkan performansi yang sangat mendekati nilai kapasitas dari berbagai macam kanal (Shannon Limit) dan mempunyai proses *decoding* yang linier. LDPC pertama kali diperkenalkan oleh Gallager dalam tesis PHD-nya pada tahun 1960. Secara umum terdapat dua cara untuk merepresentasikan kode LDPC. Sama halnya dengan semua pengkodean *linear block*, kode LDPC dapat direpresentasikan melalui bentuk matrik. Representasi yang kedua adalah bentuk graph [6].

Kode LDPC adalah kode linear bipartite grafik.  $G$  adalah graph dengan  $n$  kiri (disebut pesan node) dan  $r$  kanan nodes (disebut check nodes). Grafik membangkitkan kode linear dengan *block length*  $n$  dan dimensi sedikitnya  $n-r$  dengan cara berikut:  $n$  koordinat *codeword* digabung dengan  $n$  pesan *nodes*. *codeword* adalah vektor  $(c_1, \dots, c_n)$  untuk jumlah semua *check nodes* ( $c$ -nodes) yang berdekatan posisi *message node* adalah nol. Seperti pada gambar 1.

### Reguler LDPC

Sebuah kode LDPC disebut sebagai kode yang reguler jika  $d_v$  bernilai konstan untuk semua kolom dan  $d_c = d_v \cdot (n/m)$  juga bernilai konstan untuk semua baris. Metode *Encoding* dengan teknik *Lower Triangular Shape Based* yang diperkenalkan oleh Thomas J. Richardson dan Rudiger L. Urbanke pada tahun 2001 merupakan metode encoding yang efisien untuk kode LDPC. Tujuan dari metode encoding ini adalah membentuk *matrik parity check*  $P$  dalam bentuk *Lower Triangular Shape* seperti pada Gambar di bawah ini.



Gambar 1. *Lower Triangular Shape*

### Irregular LDPC

Sebuah kode LDPC disebut irregular LDPC codes apabila nilai  $d_v$  dan  $d_c$  bervariasi untuk setiap kolom dan baris pada *parity check matrix* nya. Hal tersebut akan mengakibatkan variabel dan check node pada Tanner graph-nya mempunyai bobot yang bervariasi. Distribusi bobot pada kedua node tersebut direpresentasikan dalam dua bentuk persamaan *polynomial*, yaitu :

$$\begin{aligned} v(X) &= \sum_{i=1}^n v_i X^{i-2} \text{ dan} \\ c(X) &= \sum_{i=1}^{d_c} c_i X^{i-1} \end{aligned} \quad (1)$$

dan dimana  $v_i$  dan  $c_i$  melambangkan *fractions* dari variabel dan *check node* pada Tanner graph ( $G$ ), sedangkan  $d_v$  dan  $d_c$  menyatakan bobot maksimum dari variabel dan check node. Dapat dilihat bahwa variabel dan check node pada  $G$  berkorespondensi dengan kolom dan baris pada *parity check matrix*  $H$ , sedangkan  $\sum_{i=1}^n$  dan  $\sum_{i=1}^{d_c}$  menggambarkan distribusi bobot kolom dan baris pada matrik  $P$  [6]. Sehingga dapat disimpulkan bahwa performansi dari kode LDPC irregular tergantung pada kedua hal di atas.

## CDMA

*Code Division Multiple Access* (CDMA) adalah sebuah bentuk pemultipleksan (bukan sebuah skema pemodulasian) dan sebuah metode akses secara bersama yang membagi kanal tidak berdasarkan waktu (seperti pada TDMA) atau frekuensi (seperti pada FDMA), namun dengan cara mengkodekan data dengan sebuah kode khusus yang diasosiasikan dengan tiap kanal yang ada dan menggunakan sifat-sifat interferensi konstruktif dari kode-kode khusus itu untuk melakukan pemultipleksan. CDMA juga mengacu pada sistem telepon seluler digital yang menggunakan skema akses secara bersama ini, seperti yang diprakarsai oleh Qualcomm. CDMA adalah sebuah teknologi militer yang digunakan pertama kali pada Perang Dunia II oleh sekutu Inggris untuk menggagalkan usaha Jerman mengganggu transmisi mereka. Sekutu memutuskan untuk mentransmisikan tidak hanya pada satu frekuensi, namun pada beberapa frekuensi, menyulitkan Jerman untuk menangkap sinyal yang lengkap [1].

Pada CDMA seluruh pelanggan menggunakan spektrum frekuensi yang sama namun dibedakan pada tiap kode uniknya yang membuat kerahasiaan informasi tiap pelanggannya terjamin. Pembangkitan sinyal pada CDMA dilakukan dengan mengalihkan suatu sinyal informasi dengan suatu pembawa *pseudorandom noise sequence* yang mengakibatkan sistem ini mempunyai rata-rata transmisi yang jauh lebih besar dari keperluan *bandwidth* minimum.

Sistem CDMA menggunakan pita frekuensi yang dibutuhkan untuk transmisi langsung. Pesan-pesan informasi dicampur dengan sederetan kode tak berurutan pada kecepatan tinggi yang ditransmisikan secara langsung. Informasi dari seluruh stasiun pelanggan dapat dikirimkan pada waktu yang bersamaan, tanpa membedakan frekuensinya. Setiap stasiun pelanggan menerima seluruh sinyal yang dikirimkan dan menghubungkan dengan sinyal yang diterima dengan kode spreading untuk mendapatkan sinyal informasi. Hal ini

berarti penerima harus mengetahui kode yang digunakan untuk memodulasi data sebelumnya pada sisi transmisi. Kanal yang digunakan bersama adalah selebar 1,25 MHz atau 5 Mhz untuk WCDMA.

Teknologi CDMA sendiri memiliki berbagai keuntungan jika diaplikasikan dalam sistem seluler. Keuntungan-keuntungan tersebut antara lain :

- Hanya membutuhkan satu radio yang dibutuhkan untuk beberapa sektor *cell*
- Tidak membutuhkan *equalizer* untuk mengatasigangguan spektrum sinyal
- Dapat bergabung dengan metode akses lainnya, tidak membutuhkan penghitung waktu (*guard time*) untuk melihat rentang waktu dan penjaga pita (*guard band*) untuk menjaga intervensi antarkanal
- Tidak membutuhkan alokasi dan pengelolaan frekuensi
- Memiliki kapasitas yang halus untuk membatasi para pengguna akses
- Memiliki proteksi dari proses penyadapan

### Teknik Spread Spectrum

*Spread Spectrum* adalah teknik memancarkan sinyal pada pita frekuensi yang jauh lebih besar daripada pita frekuensi yang dibutuhkan pada transmisi standart. Sebagai contoh adalah CDMA IS-95 menggunakan lebar pita frekuensi 1.25 MHz, sedangkan AMPS hanya 30 kHz untuk menyalurkan sinyal suara. Proses pelebaran pita frekuensi ini disebut dengan *spreading*. Terdapat 2 teknik utama dalam *spread spectrum* yaitu *frequency hopping* (FH-CDMA) dan DS-CDMA (yang dikenal sebagai CDMA biasa).

*Frequency hopping* diperoleh dengan merubah-ubah frekuensi pembawa berdasarkan waktu dengan pola yang mendekati acak, *pseudo random*. Sedangkan CDMA diperoleh dengan memodulasi sinyal informasi dengan *spreading sequence* yang dikenal sebagai *sequence* yang dikenal

sebagai *pseudo noise* (PN) sinyal digital yang menjadikan sinyal informasi berpita lebar dan berbentuk seperti derau (*noise*).

Setiap kanal/pengguna (user) pada CDMA menggunakan waktu dan frekuensi secara bersamaan. Untuk membedakan setiap kanal/pengguna maka digunakan kode yang unik yang juga digunakan untuk melebarkan sinyal. Kode ini disebut *Pseudo Random Noise* (PN Code) yang merupakan deretan data berkecepatan tinggi yang jauh lebih tinggi dari kecepatan data *baseband*/data informasinya. Kecepatan kode penyebaran (*spreading code*) dikenal dengan chip rate.

### Pseudonoise Code (PN CODE) Gold Code

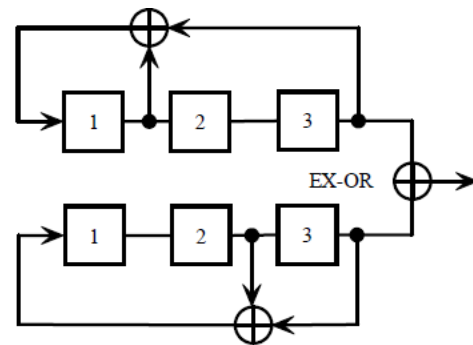
Dalam CDMA kanal komunikasi tidak dibagi-bagi berdasarkan waktu atau frekuensi. Pemisahan atau pembagian kanal didasarkan pada kode-kode tertentu yang dibangkitkan secara acak semu (tidak benar-benar acak, melainkan mempunyai pola tertentu). Dan di sisi penerima kode yang sama seperti yang digunakan pada pengirim digunakan untuk mendapatkan kembali sinyal data informasi. Untuk itu kode-kode random ini harus mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

1. Harus berbeda antara satu dengan yang lain, tetapi yang digunakan pada sisi pengirim dan pada sisi penerima sama.
2. Harus acak, tetapi memiliki pola tertentu.
3. *Cross* korelasi di antara dua kode yang berbeda harus kecil
4. Kode harus mempunyai periode yang panjang.

Set kode yang dihasilkan oleh M-sequence adalah terbatas. Ini berarti hanya beberapa pengguna yang dapat menggunakan sistem cdma. Untuk itu dicari cara lain agar lebih banyak pengguna yang dapat menggunakan sistem cdma, yaitu dengan menggunakan sebuah kode yang dinamakan kode gold. Dengan

menggunakan *gold code*, set yang lebih besar dan mempunyai fungsi korelasi yang baik dapat dibentuk.

Gold code adalah salah satu *non orthogonal code* yang merupakan turunan dari M-Sequence. Gold code disusun oleh dua buah M-SeQuence yang masing-masing outputnya ditambahkan (*adder modulo 2*). Kedua *output* dari M-Sequence ditambahkan (XOR) secara *chip per chip* menggunakan pulsa-pulsa *clock* yang sinkron. Kedua M-Sequence mempunyai panjang yang sama.



Gambar 2 Gold sequence

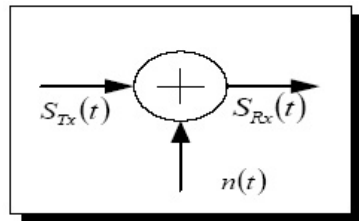
Panjang maksimal (*maximal length*) yang dapat dihasilkan adalah  $2^n + 1$  (M-sequence itu sendiri dan  $2^n - 1$  dari kombinasi yang dihasilkan dari pergeseran posisi *chip*), atau bisa disebut sebagai periode sequence. Apabila dipilih M-sequence khusus atau yang disebut *preferred pair*, maka Gold code yang dibangkitkan mempunyai 3 nilai *cross correlation*, yaitu -1,  $-2^{[(n+2)/2]} - 1$ ,  $2^{[(n+2)/2]} + 1$  dimana (n) =  $\begin{cases} 2^{(n+1)/2} + 1 & \text{for odd } n; \\ 2^{(n+2)/2} + 1 & \text{for even } n; \end{cases}$  (2)

### Kanal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*)

Model kanal digunakan untuk menganalisa dan mendesain sistem komunikasi. Kanal AWGN merupakan model kanal yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi komunikasi. *Noise* ini bersifat *white* karena rapat spektral dayanya konstan untuk semua frekuensi. *Noise* ini juga bersifat menjumlahkan dan merupakan suatu proses acak dengan distribusi gaussian. Jadi AWGN merupakan noise yang bersifat

menjumlahkan, yang mempunyai fungsi rapat spektral daya yang konstan untuk semua frekuensi dan probabilitas berdistribusi gaussian

AWGN merupakan model kanal sederhana dan umum dalam suatu sistem komunikasi. Model kanal ini dapat digambarkan seperti berikut:



**Gambar 3.** Kanal AWGN

Gambar 3. merupakan model kanal dengan *noise* AWGN, dimana sinyal keluaran dari system  $S_{Rx}(t)$  merupakan penjumlahan dari *noise* dengan sinyal input  $S_{Tx}(t)$ .

Kanal AWGN merupakan salah satu contoh dari kanal DMC (*Discrete Memoryless Channel*). AWGN juga merupakan tipe kanal komunikasi digital yang paling mudah dianalisa. Dalam kanal ini diasumsikan tidak ada distorsi atau pengaruh lainnya selain penambahan *noise white Gaussian*. Pada paragraf selanjutnya akan menjelaskan secara detail tentang kanal AWGN.

Derau kanal dapat merusak sinyal, karena sinyal yang diterima tidak lagi sama dengan sinyal yang dikirimkan. Sinyal yang diterima dalam selang waktu  $0 < t < T$ , dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$r(t) = Si(t) + n(t), 0 < t < T \quad (3)$$

dimana  $n(t)$  menggambarkan derau kanal sebagai sebuah proses acak *zero mean Gaussian*.

Secara teoritis derau kanal sering dimodelkan sebagai AWGN. Derau ini dapat dideskripsikan sebagai proses acak yang terdistribusi *Gaussian* dengan rata-rata (*mean*) sama dengan nol. Proses acak *Gaussian*  $n(t)$  merupakan fungsi acak dengan harga  $n$  pada saat  $t$ , dan dikarakteristikan secara statistik dengan

fungsi rapat probabilitas pdf (*probability distribution function*) *Gaussian* sebagai berikut:

$$p(n) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{n}{\sigma} \right)^2 \right]$$

dimana  $\sigma^2$  merupakan varian dari  $n$ . Grafik fungsi rapat probabilitas (pdf) *Gaussian* ternormalisasi dari suatu proses acak dengan nilai rata-rata nol diperoleh dengan asumsi standar deviasi ( $\sigma$ ) = 1 .

Karakteristik rapat spektral daya (psd) derau *Gaussian* putih berharga konstan untuk semua frekuensi. Dengan kata lain, sumber derau yang mempunyai psd dengan karakteristik *Gaussian* dan *white* memancarkan jumlah daya derau tiap satuan lebar pita yang sama besar pada tiap frekuensi. Misal notasi psd *Gaussian*  $G_n(f)$ , maka dapat ditulis sebagai berikut:

$$G_n(f) = \frac{N_0}{2} \quad (4)$$

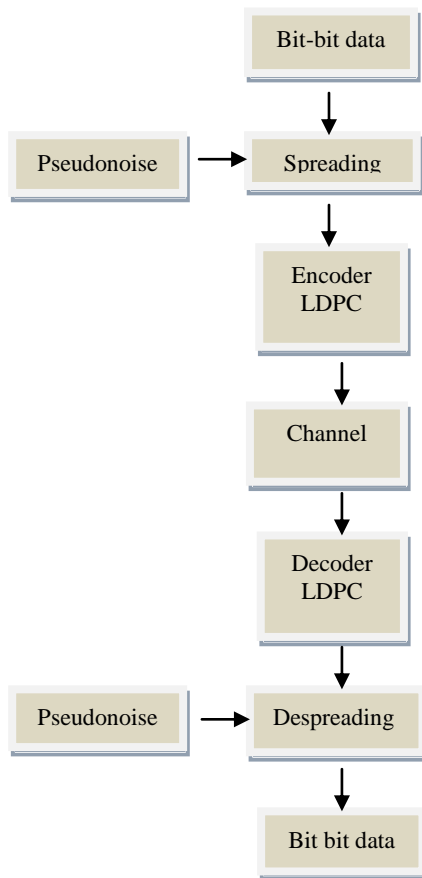
### Matlab

Matlab (Matrix Laboratory) adalah sebuah program untuk analisis dan komputasi numerik. Pada awalnya, program ini merupakan *interface* untuk koleksi rutin-rutin numeric dari proyek LINPACK dan EISPACK, namun sekarang merupakan produk komersial dari perusahaan Mathworks, Inc. Matlab telah berkembang menjadi sebuah *environment* pemrograman yang canggih yang berisi fungsi fungsi *built-in* untuk melakukan tugas pengolahan sinyal, aljabar linier, dan kalkulasi matematis lainnya. Matlab juga berisi *toolbox* yang berisi fungsi-fungsi tambahan untuk aplikasi khusus . Matlab bersifat *extensible*, dalam arti bahwa seorang pengguna dapat menulis fungsi baru untuk ditambahkan pada *library* ketika fungsi-fungsi *built-in* yang tersedia tidak dapat melakukan tugas tertentu. Kemampuan pemrograman yang dibutuhkan tidak terlalu sulit bila Anda telah memiliki pengalaman dalam pemrograman bahasa lain seperti C, Pascal, atau Fortran

### 3. Pengukuran (Perancangan)

#### Gambaran Sistem

Dalam proyek akhir ini rancangan gambaran sistemnya adalah sebagai berikut. Sebuah sinyal akan ditransmisikan melalui beberapa tahap seperti ditunjukkan pada gambar :



**Gambar 4** Blok diagram sistem

Pada sisi pengirim data yang akan dikirimkan dalam ini berbentuk *bit-bit biner*, dikodekan terlebih dahulu dengan menggunakan kode LDPC untuk mendapatkan *rate* kode tertentu. Setelah itu didapatkan bit-bit yang merupakan codeword ditambah data dari program LDPC. Kemudian data tersebut *dispreading* oleh *pseudonoise code* (PN code) menjadikan sinyal tersebut menjadi sinyal tersebar (*spreading signal*). Sinyal tersebar ini kemudian ditransmisikan melalui sebuah kanal udara. Kanal yang dipakai dalam ssstem ini adalah kanal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*).

Pada sisi penerima dilakukan proses *dispreading*, yaitu mendapatkan sinyal data asli dengan cara mengkorelasikan sinyal tersebar (*spreading signal*) dengan PN code yang sama dengan yang digunakan pada pengirim. Kemudian data hasil program CDMA tersebut dilewatkan ke *decoder* LDPC sehingga akan didapatkan data asli seperti yang dikirimkan tadi.

#### 4. Hasil Kemajuan Proyek Akhir

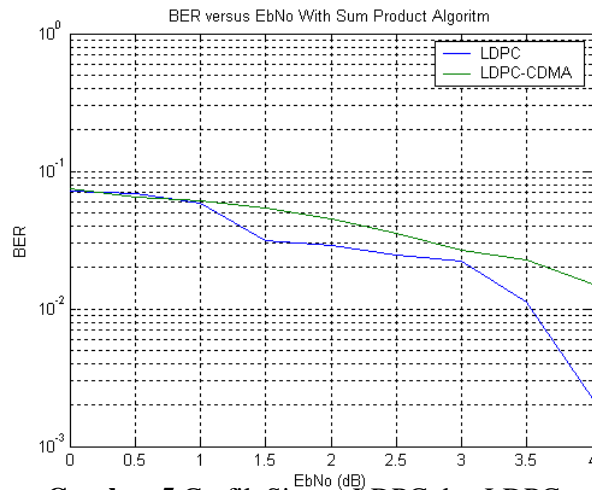
Berikut ini adalah hasil dari pengukuran program LDPC dan LDPC-CDMA dengan menggunakan metode decoding Sum Product.

**Tabel 1** BER Dengan Metode Decoding Sum Product

No.	EbNo (dB)	BER (Bit Error Rate)	
		LDPC	LDPC-CDMA
1.	0	0.0711	0.0741
2.	0.5	0.0690	0.0645
3.	1	0.0688	0.0612
4.	1.5	0.0311	0.0440
5.	2	0.0288	0.0451
6.	2.5	0.0244	0.0354
7.	3	0.0222	0.0268
8.	3.5	0.0111	0.0225
9.	4	0.0022	0.0150

Pada tabel 1 di atas dapat dilihat data-data yang didapatkan yaitu berupa nilai BER untuk daya (EbNo) sebesar 0 s/d 4 dB. Jika dilihat dari penurunan nilai BER untuk setiap peningkatan daya yang digunakan, maka terdapat persamaan dari kedua sistem yaitu semakin besar daya yang dipancarkan maka semakin kecil Bit Error yang terjadi. Pada system ini daya yang dipancarkan hanya sampai pada 4 dB saja dengan alasan, karena metode LDPC dengan decoding Sum Product ini jika daya yang dipancarkan melebihi kira-kira 5dB maka Bit Error yang terjadi akan semakin hilang atau bernilai 0. Berikut ini adalah plot grafik dari data-data yang telah didapat tadi.

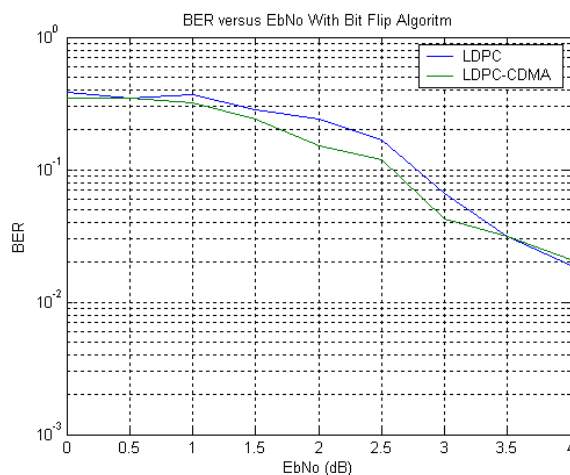




**Gambar 5** Grafik Sistem LDPC dan LDPC-CDMA menggunakan metode decoding Sum Product

**Tabel 2** BER Dengan Metode Decoding Bit Flip

No.	EbNo (dB)	BER (Bit Error Rate)	
		LDPC	LDPC-CDMA
1.	0	0.3822	0.3444
2.	0.5	0.3644	0.3488
3.	1	0.3466	0.3222
4.	1.5	0.2811	0.2400
5.	2	0.2400	0.1510
6.	2.5	0.1688	0.1177
7.	3	0.0655	0.0422
8.	3.5	0.0311	0.0311
9.	4	0.0188	0.0211



**Gambar 5** Grafik Sistem LDPC dan LDPC-CDMA menggunakan metode decoding Bit Flip

## 5. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dapat ditarik kesimpulan bahwa teknik pengkodean LDPC yang diterapkan pada sistem CDMA memiliki probabilitas kesalahan bit eror yang sangat kecil dan metode decoding LDPC menggunakan algoritma Sum Product lebih baik daripada algoritma Bit Flip.

## Daftar Pustaka :

- [1] Andrew J. Viterbi. (1995) CDMA : Principles of Spread Spectrum Communication (1st edition) Prentice Hall PTR
- [2] Low Density Parity Check Code (LDPC) , Perpustakaan Institut Teknologi Telkom
- [3] EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking 2004:1, 141–148c\_2004 Hindawi Publishing Corporation
- [4] Gallager, R.G. Low-density parity check codes. 1962. *IRE Trans. Inform. Theory*, IT-8: 21-28.
- [5] MacKay, D.J.C., and Neal, R.M. 1995. Good codes based on very sparse matrices. in Colin Boyd, Ed *Cryptography and Coding: Proceeding of 5th IMA Conference, Lecture Notes in Computer Science No.1025*. Springer-Verlag, Berlin, p. 100- 111.
- [6] Gallager, R. G. 1963. Low-Density Parity Check Codes. Ph.D dissertation. MIT Press, Cambridge, USA.
- [7] William E. Ryan , An Introduction to LDPC Codes , Departement of Electrical and Computer Engineering The University of Arizona , August 19,2003.